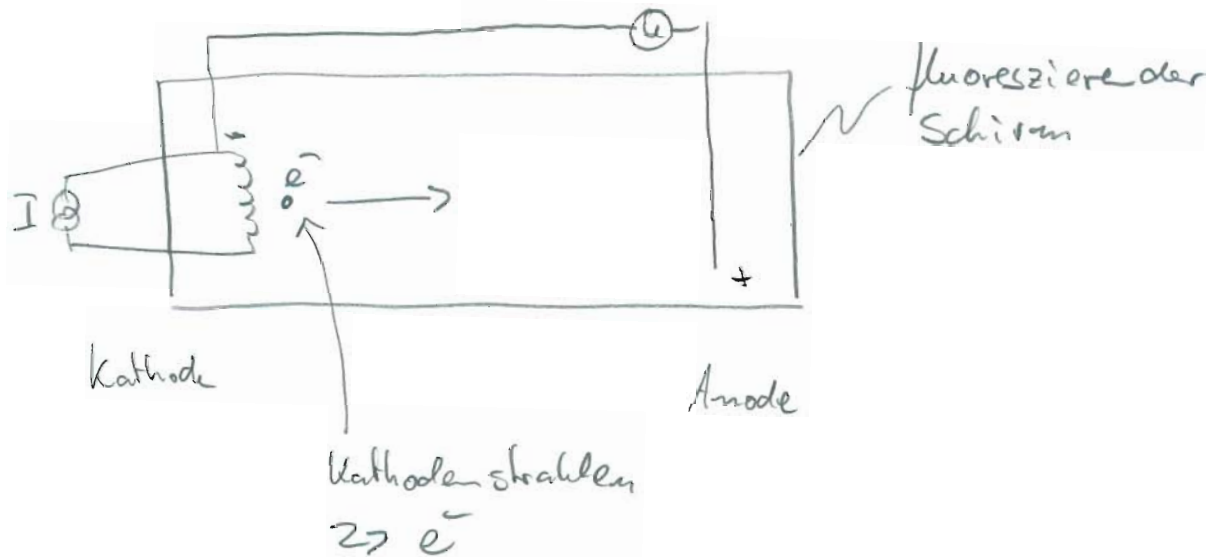


# Das Elektron

- Entdeckung des Elektrons durch Thomson (1897) in Kathodenstrahl experimenten

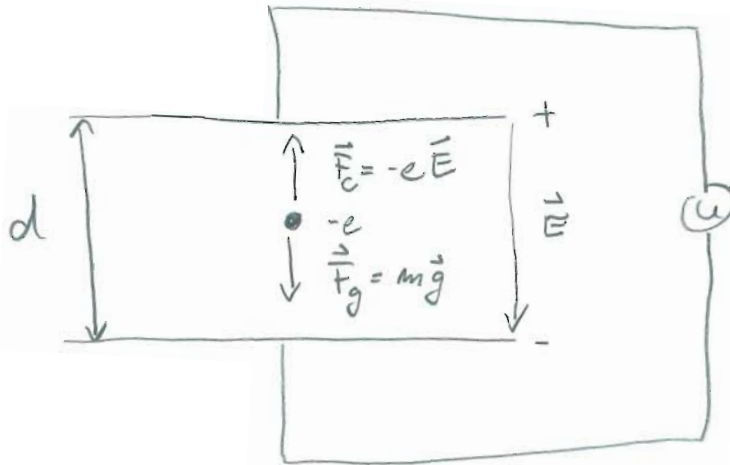


- Erzeugung freier  $e^-$  durch
  - Photoeffekt
  - thermische Emission
  - Feldemission
  - radioaktive Zerfälle ( $\beta$ -Zerfall)
- Manipulation von Elektronen mit elektrischen und magnetischen Feldern

# Ladung des Elektrons

## Experiment von Millikan (1911):

- elektrisch aufgeladene Öltröpfchen in einem elektrischen Feld



- Kräfte gleichgesetzt aus

- Schwerkraft

- elektrostatische Kraft

hier nicht weiter betrachtet

- Reibung
- Auftrieb

Dichte  
Radius der Tröpfchen optisch messbar

$$\vec{F}_g = \rho \frac{4\pi}{3} r^3 \vec{g}$$

$$\vec{F} = -ne\vec{E}$$

↑  
Anzahl  $e^-$  auf Öltröpfchen

- Ladung

$$Q = -ne = \frac{\rho \frac{4\pi}{3} r^3 g d}{U}$$

$$= n \boxed{-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}$$

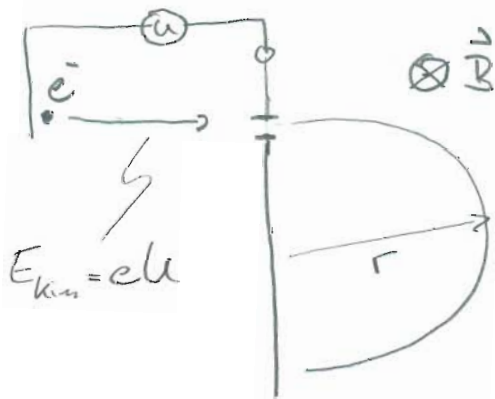
Elementarladung

# Spezifische Ladung des Elektrons $\frac{e}{m}$

- massen spektroskopische Messung (wie bei Ionen)
- Messung der **Ablenkung von Elektronen im elektrischen und magnetischen Feldern**
- allgemeine Bewegungsgleichung

$$\vec{F} = m \dot{\vec{v}} = -e (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- Bestimmung von  $\frac{e}{m}$  aus Zyklotronbewegung des  $e^-$



- $e^-$  mit fester Geschwindigkeit  $v$

$$\frac{1}{2} m v^2 = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

- **Zyklotronradius  $r$**

$$e v B = \frac{m v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m v}{e B} = \sqrt{\frac{m}{e} \frac{2U}{B^2}}$$

- spezifische Ladung

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2}$$

$\Rightarrow$  bestimmt Masse bei bekannter Ladung

- resultierende Masse

$$m = \frac{r^2 B^2}{2 e h} = \frac{r^2 \beta^2}{2 E_{kin}}$$

- Ruhemasse des Elektrons

$$m_0 = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_0 c^2 = 511 \text{ keV} \quad \text{Ruheenergie}$$

- relativistische Masse des Elektrons

$$m = m_0 \gamma$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

mit  $E_0 = m_0 c^2$  Ruheenergie

$$E = \gamma m_0 c^2 \quad \text{Gesamtenergie}$$

$$E_{kin} = E - E_0 = (\gamma - 1) m_0 c^2$$

kinetische Energie

$$m = \underbrace{\left( \frac{E_{kin}}{E_0} + 1 \right)}_{\gamma} m_0$$

Massenzunahme des Elektrons beobachtbar im Zyklotron-Experiment

$$E_{kin} = 1 \text{ keV} \Rightarrow m = (0.002 + 1) m_0 ; \frac{v}{c} = 0.06$$

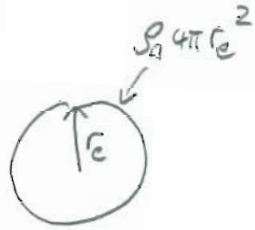
$$E_{kin} = 1 \text{ MeV} \Rightarrow m = (2 + 1) m_0 ; \frac{v}{c} = 0.94$$

# Größe des Elektrons

- Streuexperimente zwischen  $e^-$  und  $e^-$  zeigen, daß das Elektron als punktförmig angenommen werden kann. Die Streuung ist vollständig durch die Coulomb-Wechselwirkung beschrieben.

- Abschätzung des 'klassischen Elektronenradius'

- nehme an,  $e^-$  sei Kugel mit Radius  $r_e$  mit Ladung auf der Oberfläche



- elektrostatische Energie der Oberflächenladung

$$W = \int V dQ = \int \frac{Q}{C} dQ = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

mit  $C = 4\pi\epsilon_0 r_e$  ;  $Q = e$

- aus Identität mit Ruheenergie  $E_0 = m_0 c^2$  folgt

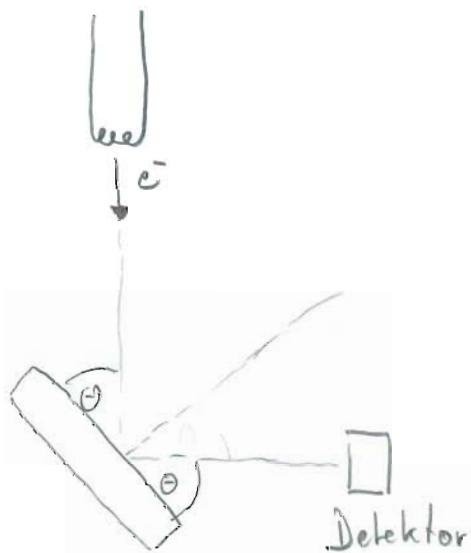
$$r_e = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 m_0 c^2} = 1.9 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

klassischer Elektronenradius

# Welleneigenschaften von Elektronen

## • Experiment von Davission und Germer

- Reflexion langsamer Elektronen an Oberflächen von Einkristallen führt zu ähnlichen Beugungserscheinungen wie bei der Bragg-Reflexion von Röntgenstrahlen



Nobelpreis 1927

⇒ Elektronen zeigen **Zerstreuz** (Welleneigenschaft)

- Ähnlich wie Photonen, die sowohl Wellen als auch Teilcheneigenschaften zeigen können, verhalten sich auch mikroskopische Teilchen der Materie (Elektronen, Protonen, Neutronen, Atome, ...) wie Wellen und Teilchen.



## De Broglie Wellenlänge eines Teilchens

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

- bestimmt durch Planck-Konstante  $h$  und den Impuls  $p$  des Teilchens

- im nichtrelativistischen Fall

$$E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2m_0} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_{\text{kin}}}}$$

- für Elektronen mit  $E_{\text{kin}} = eU$

$$\lambda = \frac{12.3}{\sqrt{U}} \text{ \AA}$$

$\Rightarrow$  in der Grösseordnung von atomaren Gitterkonstanten für  $U \sim 100 \text{ V}$

## Biegung und Interferenzerscheinungen für Materiewellen

- an der Kante
- am Spalt
- am Doppelspalt
- am Gitter